

## III-371

## Multi-Face型トンネル周辺地山の安定性に関する研究

JR西日本 正会員 前田 洋明  
 東京 大学 正会員 杉本 光隆  
 東京 大学 学生会員 金沢 芳信

## 1. はじめに

昨今、わが国の都市周辺部においては、激化する通勤ラッシュの緩和のために、大量輸送機関である鉄道、特に地下鉄への期待が高まっている。しかし、高い建設費を償却するのは容易なことではなく、交通政策の上からも、ソフト、ハード両面からの適切な対応が要求されている。大阪市のニュートラム、神戸市のポートライナー、北九州市のモノレール、都営12号線における小断面地下鉄の建設着工などは、そのハード面からの対策の例である。

Multi-Face型のトンネル(以後、MF型トンネルと呼ぶ)は図1に示すような眼鏡型の断面形状を持つトンネルであり、その特徴は、

① 大断面のトンネルや、小断面の併設トンネルに比べ、掘削断面積が少なく経済性に優れている。例えば、京葉線京橋トンネルにおける試算では大断面の円形断面トンネルに比べ工費が9割程度に減少している。

② 他の地下構造物との交差が有利である。

③ 従来の特殊断面シールドトンネルに比べ、密閉タイプの機械掘が容易で、施工性に優れている。

④ 道路トンネルにおける3連、4連のトンネルに適用可能である。  
 等であり、特に都市部におけるシールド工法において有効であると考えられる。

しかしその施工例はまだ少なく、半蔵門線永田町駅や大阪市営地下鉄阿倍野駅等の地下鉄駅部でルーフ工法を用いて施工された例や、山岳トンネルにおいてはNATM工法によって、小名浜トンネル、伊吹山トンネル等が、施工されている程度である。またシールド工法においては、1988年に着工した京葉線京橋トンネル(新八丁堀駅-東京駅間)が唯一の施工例である。

本研究においては、このような時代の要求に沿って考案されたMF型トンネルにおける、トンネル周辺地山の安定性を、側圧係数と中柱の変形係数に着目し、有限要素法を用いて解析した。本稿でその結果について報告する。

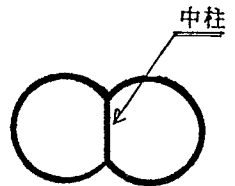


図1 MFシールド  
トンネルの断面形状

## 2. 解析モデルおよび結果

## 2-1. 解析における仮定

本研究では以下のような仮定のもとで解析を行なった。(図2)

① 掘削前後の地山は、等方弾性状態にあるとする。したがって解析は弾性解の範囲にとどめ、塑性化した後の地山の非線形な挙動については考慮しない。また、解析は平面歪場を仮定する。

② 重力や偏圧の影響、掘削段階に応じた地山挙動の経時的変化などを無視した。また、上方からはその深さでの上載圧に相当する荷重が、

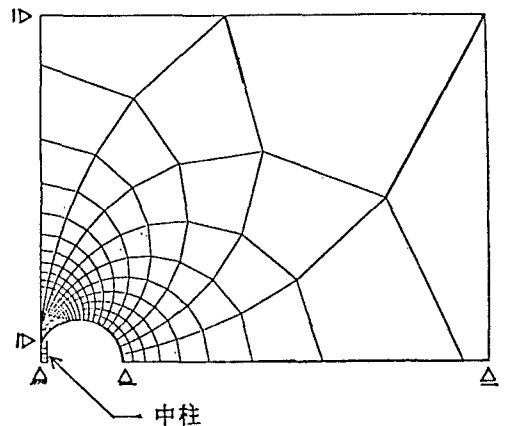


図2 FEMメッシュ図 ( $\frac{1}{4}$ モデル)

水平方向からはそれに側圧係数  $k$  をかけた荷重が作用するものとする。

③ メッシュは、双極座標系でできた。

④ 地山の安定性指標は、Von-Misesの降伏条件を用い、形状弾性歪エネルギーをその代替値である地山強度比に換算して表した。これは安全にトンネルを施工するために必要な地山強度比であり、値が小さいほど地山の安定性は増す。

なお、 $E_r, E_c, E_{cp}$  は各々地山、覆工、中柱の変形係数を表し、地山・覆工のポアソン比は各々0.30、0.17、覆工厚は20cmとした。

## 2-2. 結果

図3は、側圧係数と地山強度比の関係を表わしている。円形断面トンネルにおいては、側圧係数が1、すなわち等方的な荷重状態の時最も安定した状態になり、荷重の等方性がなくなるにつれて不安定な状態になる様子が読み取れる。これに対して、MF型トンネルにおいては、側圧係数が1以上になっても、地山の安定性は増加する傾向がみられる。これは、MF型トンネルが本来鉛直方向の荷重に弱い形状であるため、側圧係数が1以上になっても（全体の荷重が大きくなるにも関わらず）、見かけ上円形断面トンネルが等方的に荷重を受けるような状態であるためである。

また、MF型トンネルの円形断面トンネルに対する割増し率は概ね3である。

図4は中柱の変形係数と地山強度比の関係を示している。この値は尖端部での応力集中を表す指標であり、中柱の変形係数が増えるにつれ応力集中が増加し、その後ある値に漸近していく事がわかる。これは中柱の変形係数が小さいときは尖端部での変位の拘束が小さく、応力集中が起こりにくいためである。

ただし、本モデルでは重力項の影響を考えていないが、実際のトンネルを設計する場合は、塑性化する可能性が高い領域（地山強度比が本解析で得られた安定性指標より大きい領域）の重量を支えるだけの強度を持つ中柱を建てる必要がある。

## 3. 結論

① MF型トンネル周辺地山は、必ずしも側圧係数1.0の時に最も安定な状態にはならず、側圧係数が1.0以上の方がより安定化する傾向がある。

② 中柱の変形係数が小さいほど地山の安定性という点では優れている。しかし実際の設計の際には覆工の安定性も考慮する必要がある、今後の課題といえる。

$E_c=20000 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}, E_{cp}=200000 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$

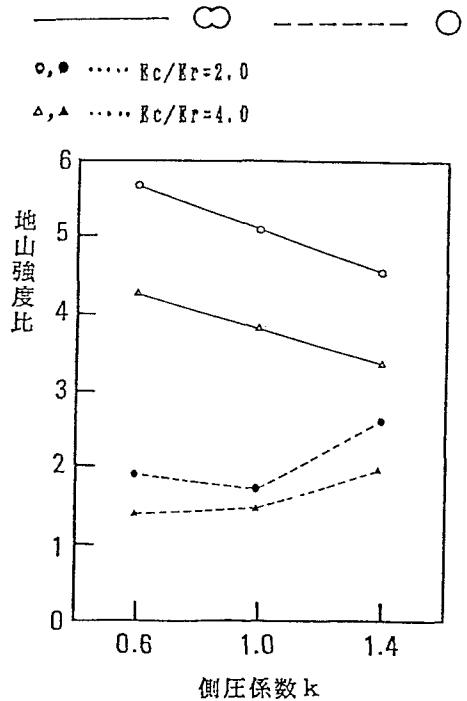


図3 側圧係数と地山の安定性

$E_c=20000 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}, E_r=5000 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$

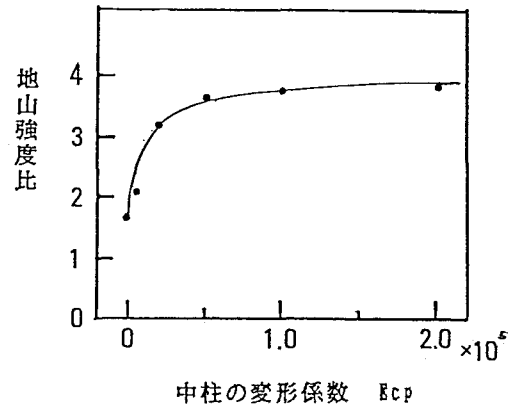


図4 中柱の剛性と地山の安定性